

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 6 月 10 日 (10.06.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/049541 A1

(51) 国際特許分類⁷: H02K 1/27, H02P 6/18, H02K 29/06

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/015203

(22) 国際出願日: 2003 年 11 月 28 日 (28.11.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2002-345980
2002 年 11 月 28 日 (28.11.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ダイキン工業株式会社 (DAIKIN INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒530-8323 大阪府 大阪市 北区中崎西 2 丁目 4 番 12 号 梅田センタービル Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 西嶋 清隆 (NISHI-JIMA, Kiyotaka) [JP/JP]; 〒525-0044 滋賀県 草津市 岡

本町字大谷 1000 番地の 2 ダイキン工業株式会社 滋賀製作所内 Shiga (JP).

(74) 代理人: 津川 友士 (TSUGAWA, Tomoo); 〒536-0005 大阪府 大阪市 城東区中央 2 丁目 7 番 7 号 ライオンズマンション野江 1201 号 Osaka (JP).

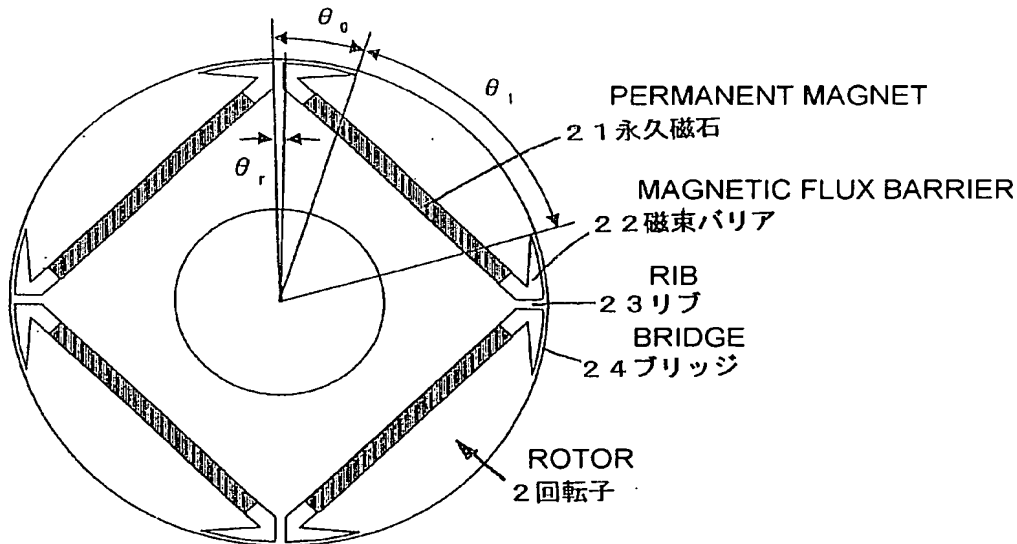
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AI, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

/ 続葉有 /

(54) Title: BLUSHLESS DC MOTOR AND BLUSHLESS DC MOTOR CONTROLLER

(54) 発明の名称: ブラシレス DC モータおよびブラシレス DC モータ制御装置



(57) Abstract: Let (θ_0) be the angle formed between the end on the magnetic pole center side of a magnetic flux barrier (22) and the end of an adjacent magnetic flux barrier (22) on the side contacting a rib 23 with respect to the rotor center, f be the oscillation frequency desired to be reduced, P_n be the number of pole pairs, $f_0 = P_n * N$ be the electric angle frequency, N be the motor rpm, $m = 1, 3, 5, \dots$, and θ_r be the angle formed by ribs with respect to the rotor center. The angle is set such that the relation $\theta_0 = 180^\circ * m / (P_n * f / f_0)$, (where, $2 \theta_0 - \theta_r < 90^\circ$) is satisfied, whereby high efficiency and low noise can be easily made compatible.

/ 続葉有 /



FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 磁束バリア22の磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリア22のリブ23に接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、低減したい振動の周波数を f 、極対数を P_n 、電気角周波数を $f_0=P_n \cdot N$ 、モータ回転数を N 、 $m=1, 3, 5, \dots$ 、リブが回転子中心に対してなす角度を θ_r とすると、 $\theta_0=180^\circ \cdot m/(P_n \cdot f/f_0)$ (ただし $2\theta_0-\theta_r < 90^\circ$)の関係を満たす角度に設定して、高効率化と低騒音化とを簡単に両立させる。

明細書

ブラシレスDCモータおよびブラシレスDCモータ制御装置

5 技術分野

この発明は、ブラシレスDCモータおよびブラシレスDCモータ制御装置に関し、さらに詳細にいえば、高効率化および低騒音化を両立できる新規なブラシレスDCモータおよびブラシレスDCモータ制御装置に関する。

10

背景技術

従来から、磁束バリアを、周方向のサイズが磁石厚さ以上になるように設定し、効率向上を図ることが提案されている（特開2002-44888号公報参照）。

15

また、永久磁石を回転子の内部に埋め込んでなるブラシレスDCモータ（以下、IPMと略称する）において、磁束バリアの角度により低騒音化を達成しようとすることが提案されている（特開平11-98731号公報、および特開2000-217287号公報参照）。

20

さらに、IPMにおいて、回転子の積層方向にスキューを施すことが提案されている（特許第3028669号公報参照）。

25

極対数 P_n のモータにおいて、モータ回転数「 rps 」の P_n 倍の周波数（以下、基本周波数と称する）に対して、基本周波数の整数倍の周波数（以下、その倍率を次数と称する）において、回転子と固定子の歯との間で、電磁吸引力（以下、電磁加振力とも称する）が発生しており、その次数の周波数の振

動・騒音が発生している。

そして、その次数の振動が、モータやモータを保持しているフレームなどの固有振動数と一致した場合、共振によってさらに大きな振動・騒音となり問題になることがある。

- 5 ところで、運転時に回転子と固定子の間に働く電磁吸引力を、接線（周方向）方向成分と法線（半径方向）方向成分に分解したとき、接線成分は回転力として有効に利用されるが、法線成分は振動・騒音の問題を発生させるだけで、無駄な電磁吸引力である。しかも、法線成分は、接線成分に対して1桁違いくらい大きい。モータの発生トルクの滑らかさが求められる用途には従来の方法やスキューなどによって、コギングトルクあるいは、運転時トルクリプルを低減することが効果的だが、モータおよびモータが組み込まれている装置全体の振動・騒音を低減したいという要求に対しては、無駄で大きな電磁力である
- 10 法線成分の電磁加振力を低減することが必要となる。

- 法線方向の電磁加振力を低減するためには、加振力自体の大きさを低減することが好ましいが、モータ効率の低下などの弊害を考慮すれば、このような対処を採用することは難しい場合が多い。そのため、特に問題となる特定の次数（回転数の整数倍の周波数）の振動・騒音の低減をめざして対策することが望まれる。
- 20

 しかし、上記の従来技術では、次のような点で課題がある。

- 特開2002-44888号公報では、磁極鉄芯の角度をしかるべき値にすることで、効率向上を実現できる。しかし、
- 25 効率が高かつ低騒音なモータが望まれており、しかも低騒音化の為に特定次数の騒音を低減したい場合、効率向上を実現で

きる範囲の角度すべてについて低騒音化が両立できるのではないため、その範囲内で最適な角度を選択し設定しなければならないが、このような設定を達成することは当業者といえども簡単にはできない。

- 5 また、特開 2 0 0 2 - 4 4 8 8 8 号公報では、リブ幅寸法変化による影響を全く考慮していないので、高効率化と低騒音化とを両立させることはさらに困難である。さらに説明する。

リブは、磁石内側の回転子内部のコアとブリッジをつなぐ半径方向に伸びる部分であるが、その幅を大きくすることにより、q 軸インダクタンス L_q を大きくできる。トルク $T_{r q}$ は、
10
$$T_{r q} = P_n * (\phi_a * i_q + (L_d - L_q) * i_d * i_q)$$

P_n : 極対数、 i_d 、 i_q : それぞれ d、q 軸電流、 L_d 、 L_q : それぞれ d 軸インダクタンス、q 軸インダクタンス、 ϕ_a : 磁束鎖交数

- 15 で表され、 L_q を大きくできれば、 $L_d - L_q$ の絶対値を大きくでき、リラクタンストルクを増やせる。このリブ幅寸法とそれに隣接する磁束バリア部の形状とは、電磁加振力の発生の仕方に大きく関係しているが、特開 2 0 0 2 - 4 4 8 8 8 号公報では、このリブの幅寸法変化による影響を考慮できていない。

- 20 特開平 1 1 - 9 8 7 3 1 号公報では、トルクリプル低減を目的として、リブを含むバリア先端間のなす角度の設定もしくはリブ中心を基準にバリア先端までの角度の設定を開示しているが、リブの幅寸法が変化しても設定される角度は同じままである。すなわち、上述のように、このリブ幅寸法とそれに隣接する磁束バリア部の形状とは、電磁加振力の発生の仕方に大きく関係しているのであるから、特開平 1 1 - 9 8 7 3 1 号公報
25

では、高効率化と低騒音化とを両立させることができない。

特開 2 0 0 0 - 2 1 7 2 8 7 号公報では、同じくトルクリ
プル低減を目的として、磁極の角度の範囲を規定しているが、
同様にリブの幅寸法の変化に対しては、何ら触れていない。す
5 なわち、上述のように、このリブ幅寸法とそれに隣接する磁束
バリア部の形状とは、電磁加振力の発生の仕方に大きく関係し
ているのであるから、特開 2 0 0 0 - 2 1 7 2 8 7 号公報では、
高効率化と低騒音化とを両立させることができない。

さらに、I P M では、生産性を考慮し回転子コアを一体に
10 保つ目的で、磁石磁束の短絡を承知の上で、薄肉厚のブリッジ
部を設けている。これは、できるだけ薄くし磁束短絡を極力抑
えたいが、遠心強度の必要性からある厚さ以上は必要であるが、
ブリッジ部の存在による影響について考慮ができていない。し
たがって、高効率化と低騒音化とを両立させることができない
15 ことになる。

発明の要約

この発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであり、高
効率化と低騒音化とを簡単に両立させることができるブラシレ
20 ス D C モータおよびブラシレス D C モータ制御装置を提供する
ことを目的としている。

請求項 1 のブラシレス D C モータは、回転子の内部に複数
個の所定厚みの永久磁石を装着し、各永久磁石の周方向の端部
に連続させて、回転子の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石の厚
25 みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリアを有し、
さらに磁極間にリブを有している回転子を含むものにおいて、

磁束バリアの磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアの
 リブに接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、
 低減したい振動の周波数を f 、極対数を P_n 、電気角周波数を
 $f_0 = P_n * N$ 、モータ回転数を N 、 $m = 1, 3, 5, \dots$ 、
 5 リブが回転子中心に対してなす角度を θ_r とするとき、

$$\theta_0 = 180^\circ * m / (P_n * f / f_0) \quad (\text{ただし } 2\theta_0 - \theta_r < 90^\circ) \quad (\text{式 1})$$

の関係を満たす角度に設定したものである。

請求項 2 のブラシレス DC モータは、回転子の内部に複数
 10 個の所定厚みの永久磁石を装着し、各永久磁石の周方向の端部
 に連続させて、回転子の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石の厚
 みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリアを有し、
 さらに磁極間にリブを有している回転子を含むものにおいて、

磁束バリアの磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリ
 15 ブに接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、
 式 1 の関係を満たす角度よりも、ブリッジの厚さに応じて大き
 く設定したものである。

請求項 3 のブラシレス DC モータは、 f / f_0 が偶数である
 ように周波数 f を設定したものである。

20 請求項 4 のブラシレス DC モータは、 f / f_0 が（ステータ
 スロット数 / P_n ）の整数倍に一致するように周波数 f を設定
 したものである。

請求項 5 のブラシレス DC モータは、式 1 において、角度
 θ_0 が $(30 / P_n)^\circ$ 以上、かつ $(60 / P_n)^\circ$ 以下になる
 25 ように m を設定したものである。

請求項 6 のブラシレス DC モータは、前記リブの幅をブリ

ッジの厚さの2倍以上に設定したものである。

請求項7のブラシレスDCモータは、前記ブリッジを補強する補強ブリッジをさらに含むものである。

5 請求項8のブラシレスDCモータは、磁束バリアの磁極中心側が、半径方向に漸縮する形状を有し、しかもこの半径方向漸縮形状部分の角度 θ_b が 18° 以上 25° 以下に設定されたものである。

請求項9のブラシレスDCモータは、ステータスロット数が36、極対数 P_n が2、 f/f_0 が36、式1の m が7に、
10 それぞれ設定されたものである。

請求項10のブラシレスDCモータは、前記回転子としてスキューが施されてなるものを採用するものである。

請求項11のブラシレスDCモータは、固定子として固定子巻線が分布巻きされてなるものを採用するものである。

15 請求項12のブラシレスDCモータ制御装置は、請求項1から請求項10の何れかのブラシレスDCモータの誘起電圧に対して電流位相を進めるべく制御されるインバータ装置を含むものである。

請求項13のブラシレスDCモータ制御装置は、最大回転
20 数のモータ端子電圧をインバータの電圧以上に設定したものである。

請求項14のブラシレスDCモータ制御装置は、モータ印加電圧、モータ電流、モータの機器定数を用いて回転子位置を算出し、算出された回転子位置に基づいてモータ駆動電流また
25 はモータ印加電圧を制御すべくインバータ装置を制御する制御手段をさらに含むものである。

請求項 15 のブラシレス DC モータ制御装置は、前記ブラシレス DC モータとして圧縮機を駆動するものを採用するものである。

請求項 1 のブラシレス DC モータであれば、回転子の内部
5 に複数個の所定厚みの永久磁石を装着し、各永久磁石の周方向の端部に連続させて、回転子の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石の厚みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリアを有し、さらに磁極間にリブを有している回転子を含むものにおいて、

10 磁束バリアの磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリブに接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、式 1 の関係を満たす角度に設定したのであるから、高効率化を達成できるとともに、周波数 f の振動を低減して低騒音化を達成できる。

15 請求項 2 のブラシレス DC モータであれば、回転子の内部に複数個の所定厚みの永久磁石を装着し、各永久磁石の周方向の端部に連続させて、回転子の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石の厚みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリアを有し、さらに磁極間にリブを有している回転子を含むものにお
20 いて、

磁束バリアの磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリブに接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、式 1 の関係を満たす角度よりも、ブリッジの厚さに応じて大きく設定したのであるから、ブリッジの厚さを考慮して、高効率
25 化を達成できるとともに、周波数 f の振動を低減して低騒音化を達成できる。

請求項 3 のブラシレス D C モータであれば、 f / f_0 が偶数であるように周波数 f を設定したのであるから、請求項 1 または請求項 2 と同様の作用を達成することができる。

5 請求項 4 のブラシレス D C モータであれば、 f / f_0 が（ステータスロット数 / P_n ）の整数倍に一致するように周波数 f を設定したのであるから、請求項 1 または請求項 2 と同様の作用を達成することができる。

10 請求項 5 のブラシレス D C モータであれば、式 1 において、角度 θ_0 が $(30 / P_n)^\circ$ 以上、かつ $(60 / P_n)^\circ$ 以下になるように m を設定したのであるから、請求項 1 から請求項 4 の何れかと同様の作用を達成することができる。

請求項 6 のブラシレス D C モータであれば、前記リブの幅をブリッジの厚さの 2 倍以上に設定したのであるから、請求項 1 から請求項 5 の何れかと同様の作用を達成することができる。

15 請求項 7 のブラシレス D C モータであれば、前記ブリッジを補強する補強ブリッジをさらに含むのであるから、機械的強度を向上できるほか、請求項 1 から請求項 6 の何れかと同様の作用を達成することができる。

20 請求項 8 のブラシレス D C モータであれば、磁束バリアの磁極中心側が、半径方向に漸縮する形状を有し、しかもこの半径方向漸縮形状部分の角度 θ_0 が 15° 以上 25° 以下に設定されているのであるから、加振力およびトルクリプルを小さくできるほか、請求項 1 から請求項 7 の何れかと同様の作用を達成することができる。

25 請求項 9 のブラシレス D C モータは、ステータスロット数が 36、極対数 P_n が 2、 f / f_0 が 36、式 1 の m が 7 に、そ

れぞれ設定されているので、請求項 1、請求項 2、請求項 6、請求項 7、請求項 8 の何れかと同様の作用を達成することができる。

請求項 10 のブラシレス DC モータであれば、前記回転子
5 としてスキューが施されてなるものを採用するのであるから、トルクリプルを低減できるほか、請求項 1 から請求項 9 の何れかと同様の作用を達成することができる。

請求項 11 のブラシレス DC モータであれば、固定子として固定子巻線が分布巻きされてなるものを採用するのであるから、
10 ら、振動を低減できるほか、請求項 1 から請求項 10 の何れかと同様の作用を達成することができる。

請求項 12 のブラシレス DC モータ制御装置であれば、請求項 1 から請求項 11 の何れかのブラシレス DC モータの誘起電圧に対して電流位相を進めるべく制御されるインバータ装置
15 を含むのであるから、高効率化を達成できるとともに、周波数 f の振動を低減して低騒音化を達成できる。

請求項 13 のブラシレス DC モータ制御装置であれば、最大回転数のモータ端子電圧をインバータの電圧以上に設定したのであるから、運転範囲を拡大できるほか、請求項 12 と同様
20 の作用を達成することができる。

請求項 14 のブラシレス DC モータ制御装置であれば、モータ印加電圧、モータ電流、モータの機器定数を用いて回転子位置を算出し、算出された回転子位置に基づいてモータ駆動電流またはモータ印加電圧を制御すべくインバータ装置を制御する
25 制御手段をさらに含むのであるから、位置センサを用いることなくブラシレス DC モータを制御できるほか、請求項 12 ま

たは請求項 1 3 と同様の作用を達成することができる。

請求項 1 5 のブラシレス D C モータ制御装置であれば、前記ブラシレス D C モータとして圧縮機を駆動するものを採用するのであるから、位置センサを用いることなく圧縮機を駆動する
5 ことができるほか、請求項 1 4 と同様の作用を達成することができる。

図面の簡単な説明

第 1 図は、従来のブラシレス D C モータの構成を示す縦断面
10 面図である。

第 2 図は、第 1 図のブラシレス D C モータにおける回転子の回転角度に対する歯加振力法線成分を示す図である。

第 3 図は、バリアの幅が永久磁石の厚さより大きい回転子を有するブラシレス D C モータの構成を示す縦断面図である。

15 第 4 図は、第 3 図のブラシレス D C モータにおける回転子の回転角度に対する歯加振力法線成分を示す図である。

第 5 図は、第 3 図のブラシレス D C モータの回転子のみを拡大して示す縦断面図である。

第 6 図は、ブリッジの半径方向の厚さに対する固定子の歯
20 加振力法線成分が最小になる θ_0 を示す図である。

第 7 図は、 θ_0 に対する歯加振力の一解析例を示す図である。

第 8 図は、 θ_0 に対する歯加振力の他の例を示す図である。

第 9 図は、第 5 図の回転子の 1 つの磁束バリアを拡大して示す縦断面図である。

25 第 1 0 図は、磁束バリア先端の角度に対する歯加振力 3 6 次成分を示す図である。

第 1 1 図は、磁束バリア先端の角度に対するトルクリプルを示す図である。

第 1 2 図は、補強ブリッジ部を追加したブラシレス D C モータの回転子の縦断面図である。

5 第 1 3 図は、補強ブリッジ部を追加し、かつ永久磁石を内側に置いたブラシレス D C モータの回転子の縦断面図である。

第 1 4 図は、この発明のブラシレス D C モータ制御装置の一実施形態を示すブロック図である。

10 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して、この発明のブラシレス D C モータおよびブラシレス D C モータ制御装置の実施の形態を詳細に説明する。

先ず、騒音低減と角度 θ_0 の決め方を説明する。

15 第 1 図は従来のブラシレス D C モータの構成を示す縦断面図であり、多数の歯 1 1 が形成された固定子 1 と、内部に永久磁石 2 1 を収容しているとともに、永久磁石 2 1 の両端部から外表面に向かって延びる磁束短絡防止用のバリア 2 2 を有している回転子 2 とを有している。

20 第 2 図は、バリア 2 2 の幅が永久磁石 2 1 の厚さに近い回転子を有するブラシレス D C モータの運転時において、歯 A にかかる加振力（法線成分）を示す図である。

第 2 図から分かるように、回転子 2 の回転とともに、加振力は急激に増大し、その後徐々に減少していく。

25 第 3 図は、バリア 2 2 の幅が永久磁石 2 1 の厚さより大きい回転子を有するブラシレス D C モータの構成を示す縦断面図

であり、第 1 図のブラシレス D C モータと異なる点は、バリア 2 2 の形状のみである。

第 4 図は、第 3 図のブラシレス D C モータの運転時において、歯 A にかかる加振力(法線成分)を示す図である。

- 5 第 4 図から分かるように、回転子 2 の回転に伴って、山が 2 つ現れる。2 つの山のうち、最初の低い山はリブの部分 B が歯 A の位置にくるときであり、次の大きい山は、バリア先の磁極部分 C が歯 A の位置にくるときである。

- 10 加振力の山と山がある位相差をもって発生している為、その位相差を所望の値に設定できれば、特定の周波数の加振力成分を打ち消すことができる。この考えに基づき、第 3 図の回転子のみを拡大して示す第 5 図の角度 θ_1 (永久磁石の両端に対応するバリア 2 2 により規定される磁極角度) を適切に決めればよいことが予想される。

- 15 ところで、電気角の周波数を f_0 とし、周波数 f の振動を低減したい場合、第 4 図の位相差 ϕ (電気角) が、周波数 f の半周期に一致すれば、この 1 つめの山で発生する周波数 f の加振力成分と 2 つめの山で発生する周波数 f の加振力成分が打ち消しあい、振動低減を実現することができる。

- 20 周波数 f の 1 周期の角度は、電気角基本波周波数 f_0 の 1 周期を 360 度とすると、 $360 * f_0 / f$ となり、 ϕ はその半分であるから、

$$\phi = 180 * f_0 / f \quad (\text{式 2})$$

となる。

- 25 また、位相差 ϕ は、第 5 図の θ_0 の間隔 (磁束バリアの磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリブに接する側の端部

とが、回転子中心に対してなす角度)で発生しており、極対数を P_n とするとき、

$$\theta_0 = \phi / P_n = 180 * f_0 / f / P_n = 180 / (P_n * f / f_0) \quad (\text{式 } 3)$$

5 となる。

なお、以上では、 ϕ を周波数 f の半周期 (0.5 倍) として式 3 を導出したが、それに限らず、 f の周期の 1.5 倍や 2.5 倍などでもよく、結局、

$$\theta_0 = m * \phi / P_n = 180 * m * f_0 / f / P_n = 180 * m / (P_n * f / f_0) \quad (\text{式 } 4)$$

(ただし $2\theta_0 - \theta_r < 90^\circ$)、($m = 1, 3, 5, \dots$)

となるような角度 θ_0 にすればよいことが分かる。

以上のように第 5 図で示すように角度 θ_0 の決め方を採用すれば、リブ幅寸法が変化しても、角度の決め方に変更はない。

15 すなわち、リブ幅寸法を考慮していることになる。

なお、リブ 23 の回転子の中心に対してなす角度を θ_r とするとき、 θ_0 と θ_1 とは、

$$\theta_1 = (180 / P_n) + \theta_r - 2 * \theta_0 \quad (\text{式 } 5)$$

の関係にある。

20 なお、騒音低減を狙う周波数 f は、任意の周波数でもよく、 f / f_0 が偶数となるような周波数でもよく、 f / f_0 が (ステータスロット数 / P_n) の整数倍となるような周波数でもよい。

上記の構成のブラシレス DC モータを採用すれば、高効率化および低騒音化を両立することができる。

25 次いで、ブリッジ厚さの影響と角度 θ_0 の補正を説明する。

ブラシレス DC モータの回転子には、ある寸法以上の半径

方向厚さをもつブリッジ 2 4 が必要であり、その存在により、上記のように決定された θ_0 は、特定の周波数 f の騒音低減のためには最適ではない。

例えば、周波数 f の騒音を低減するために式 1 で決まる角度 θ_0 が 17.5° である場合について、ブリッジ 2 4 の半径方向厚さを変化させた時、固定子の歯加振力法線成分が最小となる θ_0 をプロットすると、第 6 図に示すように、ブリッジ 2 4 の半径方向厚さの増加に伴って増加する。具体的には、ブリッジ厚さが 0.7 mm 付近では、式 1 で求まる θ_0 に対して、 0.35° 大きく設定すべきことが分かる。これは僅かな角度であるが、低減したい周波数が高い場合には影響が大きい。例えば、 f/f_0 が 36 である場合、周波数 f の 1 周期の角度が 5° であるため、 0.35° は、36 次の周波数では 2.5° に相当し、角度に対する加振力の変化が正弦波状であると仮定すれば、加振力差は約 1 割に相当し影響は大きい。

したがって、第 6 図に示す関係を式として保持し、またはテーブルとして保持しておいて、式 1 で求められた θ_0 を補正することにより、高効率化および低騒音化を両立することができる。

さらに説明する。

上記の実施形態の場合には、リブ幅が変化しても、 θ_0 は式 1 を元に補正すれば最適な角度を算出することができる。具体的には、スロット数が 36、極数が 4 極、低減したい次数が $f/f_0 = 36$ 、 $m = 7$ の場合には、式 1 で求められる角度 θ_0 は 17.5° である。しかし、実際には、第 7 図に示すように、若干大きめに補正した角度 θ_0 において $36f$ の加振力が極小に

なる。また、リブ幅寸法が変わった場合であっても、最適な角度 θ_0 に影響はない（第 7 図参照）。なお、ブリッジの厚さは 0.7 mm に設定している。

また、スロット数が 36、極数が 4 極、低減したい次数が
5 $f / f_0 = 1.8$ 、 $m = 3$ の場合には、角度 θ_0 は、式 1 で求められる角度 $\theta_0 = 1.5^\circ$ よりも若干大きくすることが好ましい（第 8 図参照）。なお、ブリッジの厚さは 0.7 mm に設定している。

以上から分かるように、ブリッジの厚さに応じて角度 θ_0 はを大きくすることが好ましい。

10 さらに、最適なバリア先の形状を説明する。

バリア 22 の磁極中心側の先端の角度（第 9 図の θ_b 参照）は、加振力とトルクリプルに影響を及ぼし、両者を最小にできる最適な角度が存在することを見出した。

θ_b を変化させた場合の 36 次（ $= f / f_0$ ）の加振力の変
15 化は第 10 図に示すとおりであり、 20° 付近に最適値がある（最も加振力が小さい）ことがわかる。角度が大きい側は、ある値で飽和傾向を示しており、どの角度を採用してもよいと思われるかもしれないが、このときの発生トルクリプルを見ると、第 11 図に示すように、 20° 付近を最小とし、 θ_b の増加に伴
20 って増加する傾向を示している。したがって、 θ_b を、 $1.8^\circ \sim 2.5^\circ$ の範囲に設定することが好ましい。

また、ブリッジ 24 の長さが長くなれば、機械的強度の低下が懸念されることとなる。これに対しては、第 12 図、第 13 図に示すように、磁束バリア 22 を、周方向に磁極中心に向かって延びる部分 22b と他の部分 22a とに区分し、両部分
25 22a、22b を区分する鉄心部分を補強ブリッジ部 24a と

することにより、機械的強度を向上させることが例示できる。
なお、第 13 図は、 q 軸インダクタンスが磁気飽和の影響を受
けないように永久磁石 21 の外側の鉄部を大きくとるべく永久
磁石 21 を内側に置いた点において第 12 図と異なるだけであ
り、他の部分の構成は同一である。

なお、上記のブラシレス DC モータにおいて、固定子とし
て固定子巻線が分布巻きされたものを採用することが好ましい。
なぜならば、分布巻き（第 1 図、第 3 図参照）は、集中巻きに
比べて元々振動が少ない構成であり、スロット数を増加させる
ことで振動を抑えることができるが、本願発明を利用すること
で、さらなる振動低減を達成できるからである。

また、ブラシレス DC モータは、上記の構成のものには限
定されない。

第 14 図はこの発明のブラシレス DC モータ制御装置の一
実施形態を示すブロック図である。

このブラシレス DC モータ制御装置は、直流電源を入力と
するインバータ 31 の出力をブラシレス DC モータ 32 に供給
している。そして、モータ電圧、およびモータ電流を入力とし、
予め設定されたモータモデルを用いてブラシレス DC モータ 3
2 の回転子の磁極位置を推定する位置検出部を有するとともに、
推定された位置信号を基準として速度検出処理、速度制御演算
処理、位相制御演算処理、電流制御演算処理などを行ってイン
バータ 31 にスイッチング素子に対するスイッチング指令を出
力するインバータ制御部 33 を有している。なお、インバータ
制御部 33 の構成は従来公知であるから、詳細な構成は省略し
てある。

そして、インバータ制御部 33 によって、モータ誘起電圧に対してモータ電流位相を進めるようにインバータ 31 を制御することができ、この場合には、リラクタンストルクを有効に活用することができる。

- 5 また、最大回転数のモータ端子電圧をインバータの出力電圧以上に設定することが可能であり、この場合には、弱め磁束制御を行うことによってブラシレス DC モータの運転を達成することができる。

- 10 さらに、上記のインバータ制御部 33 は、位置センサを用いることなく回転子の磁極位置を推定するのであるから、圧縮機のような過酷な環境下にブラシレス DC モータを簡単に組み込むことができ、圧縮機などを駆動することができる。

15

20

25

請求の範囲

1. 回転子(2)の内部に複数個の所定厚みの永久磁石(21)を装着し、各永久磁石(21)の周方向の端部に連続させて、回転子(2)の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石(21)の厚みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリア(22)を有し、さらに磁極間にリブ(23)を有している回転子を含むブラシレスDCモータにおいて、

磁束バリア(22)の磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリブ(23)に接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、低減したい振動の周波数を f 、極対数を P_n 、電気角周波数を $f_0 = P_n * N$ 、モータ回転数を N 、 $m = 1, 3, 5, \dots$ 、リブが回転子中心に対してなす角度を θ_r とするととき、

$$\theta_0 = 180^\circ * m / (P_n * f / f_0) \quad (\text{ただし } 2\theta_0 - \theta_r < 90^\circ) \quad (\text{式1})$$

の関係を満たす角度に設定することを特徴とするブラシレスDCモータ。

2. 回転子(2)の内部に複数個の所定厚みの永久磁石(21)を装着し、各永久磁石(21)の周方向の端部に連続させて、回転子(2)の表面近傍まで伸び、かつ永久磁石(21)の厚みよりも大きい周方向の長さの非磁性部の磁束バリア(22)を有し、さらに磁極間にリブ(23)を有している回転子を含むブラシレスDCモータにおいて、

磁束バリア(22)の磁極中心側の端部と、隣接する磁束バリアのリブ(23)に接する側の端部とが、回転子中心に対してなす角度 θ_0 を、低減したい振動の周波数を f 、極対数を P_n 、

電気角周波数を $f_0 = P_n * N$ 、モータ回転数を N 、 $m = 1, 3, 5, \dots$ 、リブが回転子中心に対してなす角度を θ_r とするとき、

$$\theta_0 = 180^\circ * m / (P_n * f / f_0) \quad (\text{ただし } 2\theta_0 - \theta_r < 90^\circ) \quad (\text{式 } 1)$$

の関係を満たす角度よりも、ブリッジ (24) の厚さに応じて大きく設定することを特徴とするブラシレス DC モータ。

3. f / f_0 が偶数であるように周波数 f を設定してある請求項 1 または請求項 2 に記載のブラシレス DC モータ。

10 4. f / f_0 が (ステータスロット数 / P_n) の整数倍に一致するように周波数 f を設定してある請求項 1 または請求項 2 に記載のブラシレス DC モータ。

15 5. 式 1 において、角度 θ_0 が $(30 / P_n)^\circ$ 以上、かつ $(60 / P_n)^\circ$ 以下になるように m を設定してある請求項 1 から請求項 4 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

6. 前記リブ (23) の幅をブリッジ (24) の厚さの 2 倍以上に設定してある請求項 1 から請求項 5 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

20 7. 前記ブリッジ (24) を補強する補強ブリッジをさらに含む請求項 1 から請求項 6 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

25 8. 磁束バリア (22) の磁極中心側が、半径方向に漸縮する形状を有し、しかもこの半径方向漸縮形状部分の角度 θ_b が 18° 以上 25° 以下である請求項 1 から請求項 7 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

9. ステータスロット数が 36、極対数 P_n が 2、 f / f_0

が 36、式 1 の m が 7 である請求項 1、請求項 2、請求項 6、請求項 7、請求項 8 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

10. 前記回転子 (2) はスキューが施されてなる請求項 1 から請求項 9 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

5 11. 固定子 (1) は固定子巻線が分布巻きされてなる請求項 1 から請求項 10 の何れかに記載のブラシレス DC モータ。

12. 請求項 1 から請求項 11 の何れかのブラシレス DC モータの誘起電圧に対して電流位相を進めるべく制御されるインバータ装置 (31) を含むことを特徴とするブラシレス DC
10 モータ制御装置。

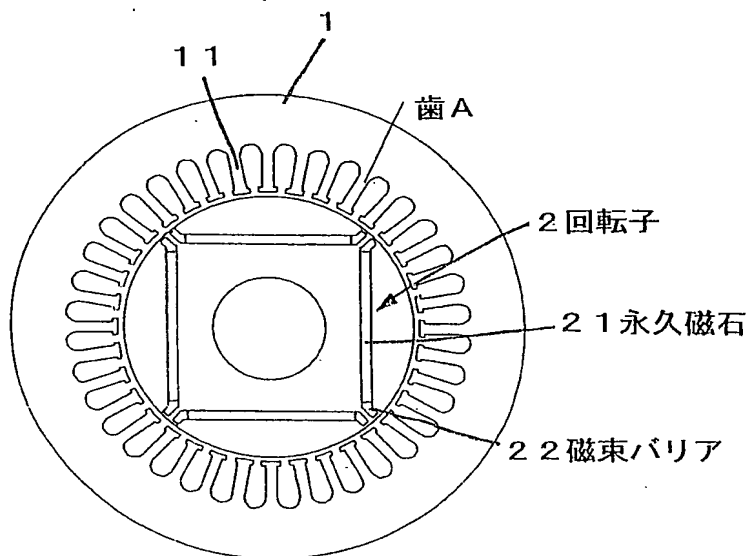
13. 最大回転数のモータ端子電圧をインバータの電圧以上に設定している請求項 12 に記載のブラシレス DC モータ制御装置。

14. モータ印加電圧、モータ電流、モータの機器定数を用いて回転子位置を算出し、算出された回転子位置に基づいて
15 モータ駆動電流またはモータ印加電圧を制御すべくインバータ装置 (31) を制御する制御手段 (33) をさらに含む請求項 12 または請求項 13 に記載のブラシレス DC モータ制御装置。

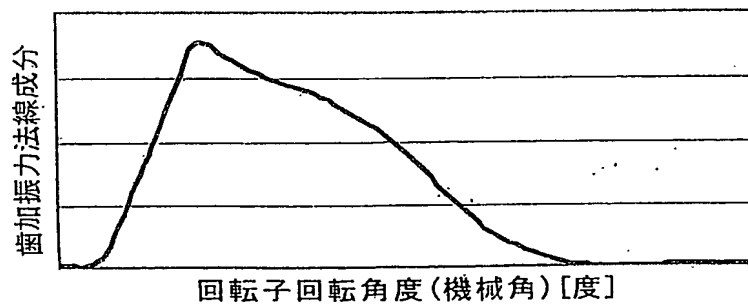
15. 前記ブラシレス DC モータは圧縮機を駆動するものである請求項 14 に記載のブラシレス DC モータ制御装置。
20

1 / 8

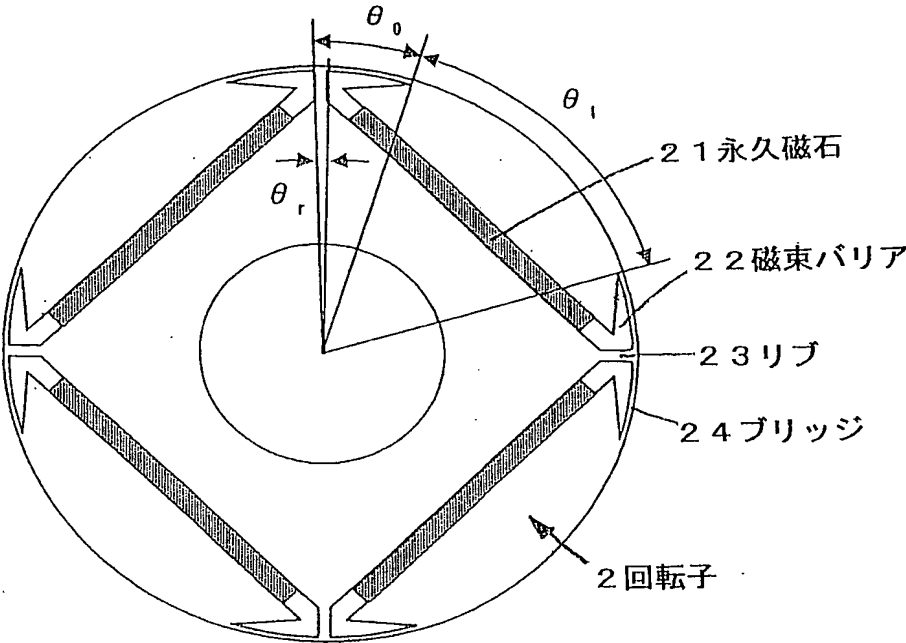
第1図



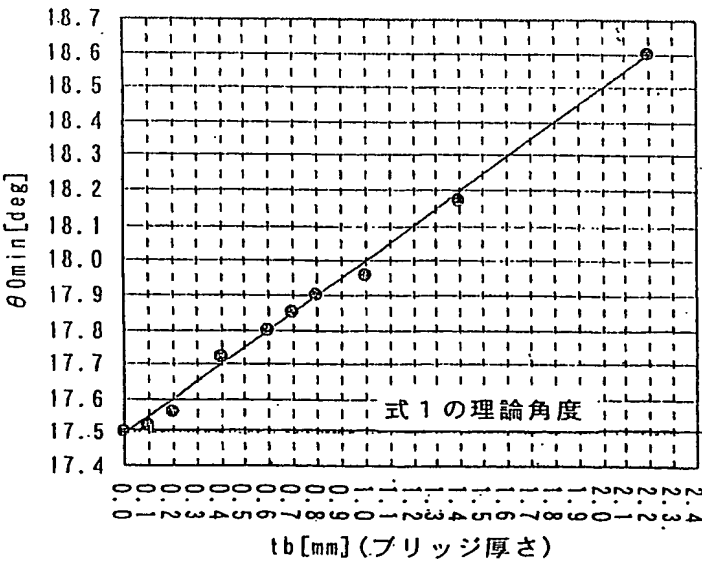
第2図



第5図

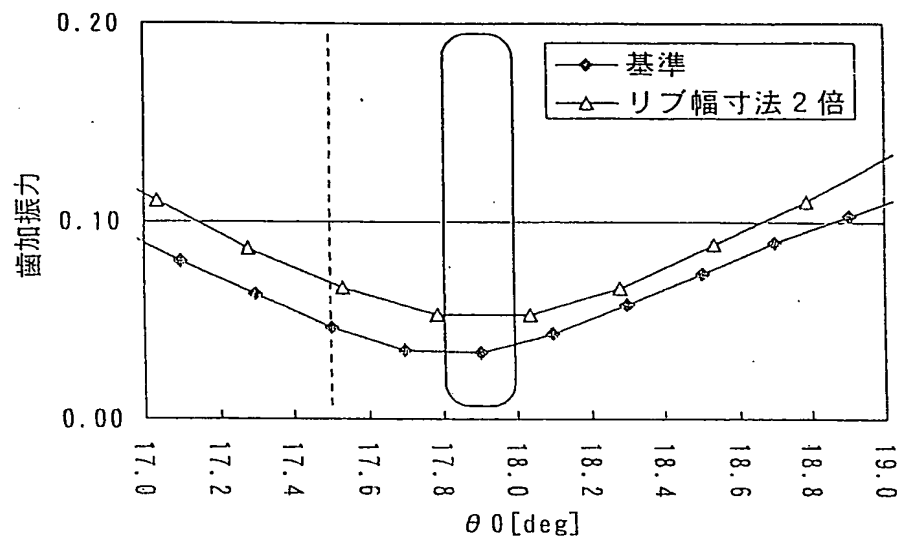


第6図

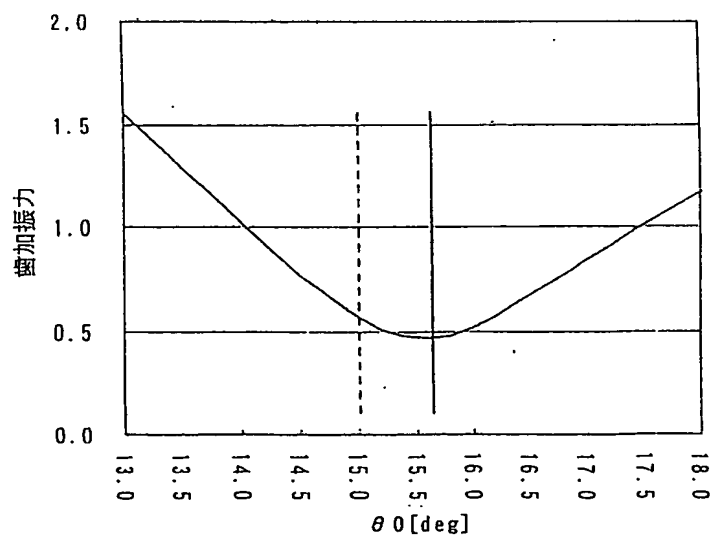


4 / 8

第7図

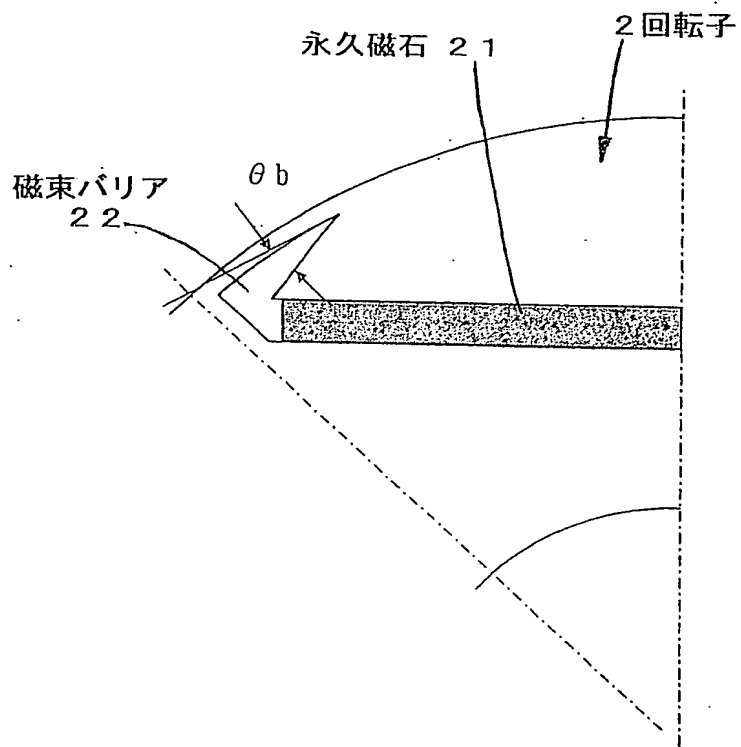


第8図



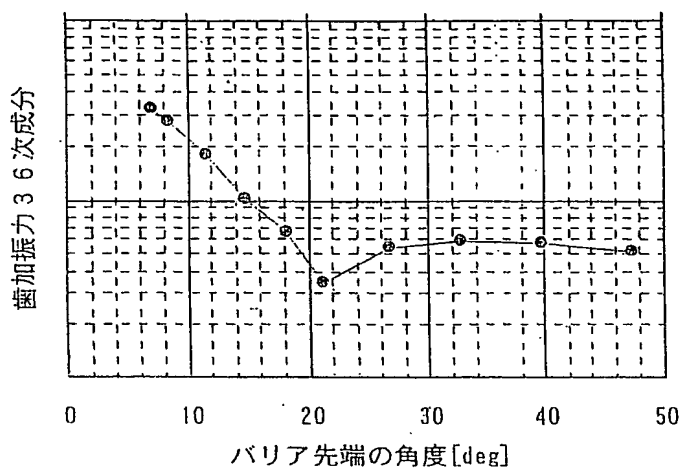
5 / 8

第9図

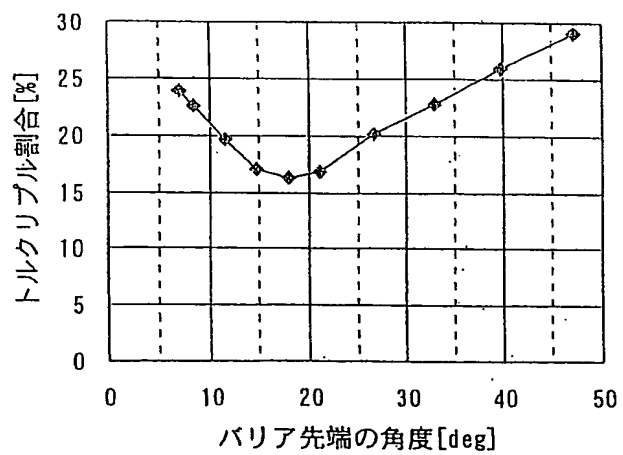


6 / 8

第10図

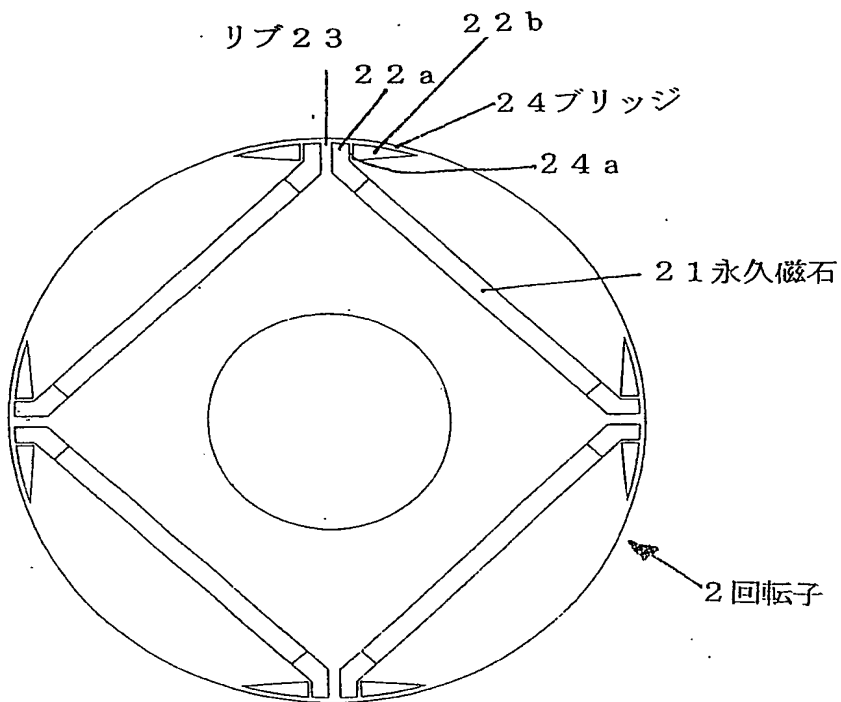


第11図

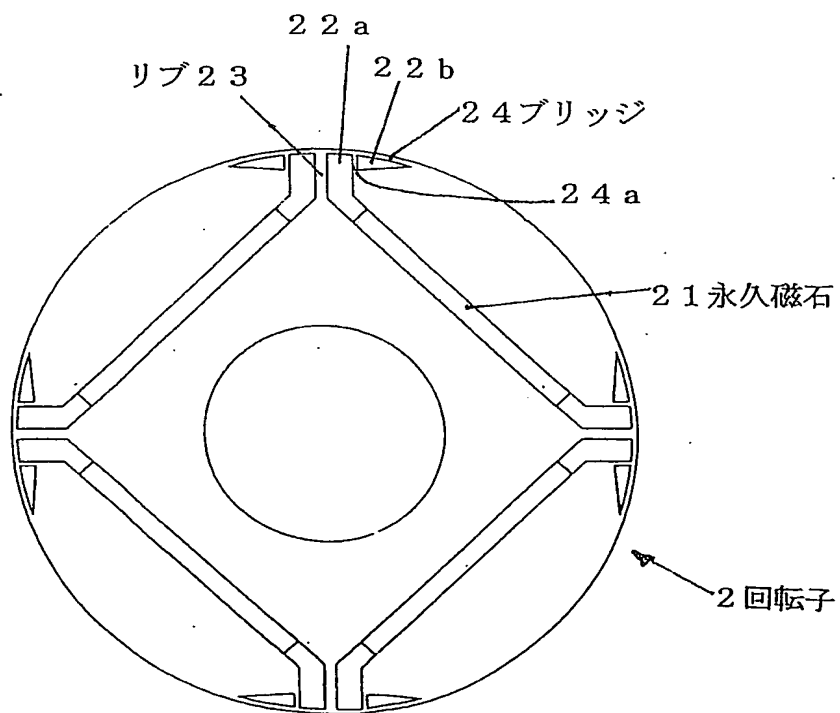


7 / 8

第12図

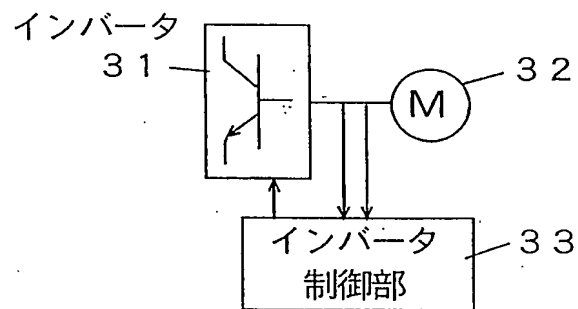


第13図



8 / 8

第14図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/15203

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H02K1/27, H02P6/18, H02K29/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H02K1/27, H02P6/18, H02K29/00, H02K21/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6008559 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 December, 1999 (28.12.99), Full text; Figs. 1 to 15 & JP 11-98731 A Full text; Figs. 1 to 15 & CN 1267043 A	1-15
A	JP 2001-231196 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 24 August, 2001 (24.08.01), Full text; Figs. 1 to 18 (Family: none)	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 March, 2004 (01.03.04)

Date of mailing of the international search report
16 March, 2004 (16.03.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15203

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6218753 B1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 17 April, 2001 (17.04.01), Full text; all drawings & JP 12-69695 A Full text; Figs. 1 to 6 & DE 19933009 A	1-15
A	JP 2001-268873 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 September, 2001 (28.09.01), Full text; Figs. 1 to 9 (Family: none)	1-15
E,A	EP 1289101 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 05 March, 2003 (05.03.03), Full text; Figs. 1 to 12 & JP 2003-153508 A Full text; Figs. 1 to 12 & CN 1409459 A	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K 1/27
 Int. Cl⁷ H02P 6/18
 Int. Cl⁷ H02K 29/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K 1/27, Int. Cl⁷ H02K 21/14
 Int. Cl⁷ H02P 6/18
 Int. Cl⁷ H02K 29/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 6008559 A (Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.) 28. 12. 1999, 全文, 第1-15図 & JP11-98731 A, 全文, 第1-15図 & CN 1267043 A	1-15
A	JP 2001-231196 A (松下電器産業株式会社) 24. 08. 2001, 全文, 第1-18図 (ファミリーなし)	1-15
A	US 6218753 B1 (Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.)	1-15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 03. 2004

国際調査報告の発送日

16. 3. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
 安池 一貴

3V 3328

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	17.04.2001, 全文, 全図 & JP12-69695 A, 全文, 第1-6図 & DE 19933009 A	
A	JP 2001-268873 A (松下電器産業株式会社) 28.09.2001, 全文, 第1-9図 (ファミリーなし)	1-15
EA	EP 1289101 A (Matsushita Elect ric Industrial Co. Ltd.) 05.03.2003, 全文, 第1-12図 & JP2003- 153508 A, 全文, 第1-12図 & CN 140945 9 A	1-15